

- >14% – глины.

Величина НКВ по значению близка к величине влажности на границе раскатывания при определении числа пластичности глинистого сырья:

$$W_{\text{гр.раск.}} = \alpha \cdot W_{\text{нкв}},$$

где  $\alpha = 0...0,3$ .

Также величина НКВ соответствует влажности так называемой «критической точки» при проведении процесса сушки сырца, при которой прекращаются усадочные деформации:

$$W_{\text{критической точки}} = \beta \cdot W_{\text{нкв}},$$

где  $\beta = 0...0,3$ .

Значение НКВ используется для определения количества капиллярно подвижной воды в составе глиномассы:

$$\Delta W_{\text{подв.вл.}} = W_{\text{абс.вл.}} - W_{\text{нкв}}.$$

При проведении испытаний следует учитывать, что величина НКВ зависит от температуры проведения исследования, так как нами установлено, что в образцах глинистых пород с увеличением температуры наблюдалось уменьшение капиллярно неподвижной влаги. Характер температурной зависимости зависит от количества глинистой фракции (частиц размером 0 – 20 мкм) и её минералогического состава.

Дополнительным аргументом за введение контроля глинистого сырья по критерию НКВ является простота инструментального обеспечения, воспроизводимость результатов лабораторных испытаний и возможность использования данных входного контроля для прогнозирования технологических параметров процессов на этапе формования и сушки.

### Литература

1. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Введ. 2013-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2013. – 38 с.
2. ГОСТ 32496-2013. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия. Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
3. ГОСТ 32026-2012 Сырье глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия. Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
4. Лотов В.А. Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 192 с.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 3Д-ПЕЧАТИ БИОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА – ГИДРОКСИАПАТИТА

Н.Е. Торопков, Н.С. Антонкин

Научный руководитель – профессор Т.С. Петровская

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время в ортопедии и травматологии используются, главным образом имплантаты, в основе которых лежат металлы, сплавы, а также биоинертная керамика (алюмо-циркониевая, циркониевая) [1]. Однако имеются области регенеративной медицины, где незаменимой является кальциево-фосфатная керамика и изделия на ее основе. При этом невысокая прочность кальциево-фосфатной керамики не позволяет ее использовать в качестве объемных элементов, способных нести поддерживающую функцию, поэтому кальций-фосфатная керамика находит широкое применение в качестве покрытий на металлические и керамические имплантаты, снижая риск отторжения в первые периоды приживания [2, 3]. В стремлении повысить прочность, в кальций-фосфатную керамику вводят добавки, повышающие плотность и прочность, однако при это снижается ее способность к остеоинтеграции [3].

Обширные дефекты костей (например, при онкологии) требуют использования имплантатов со сложной геометрией, что остается труднорешаемой задачей. Отсутствие полной геометрической конгруэнтности имплантата с окружающими тканями приводит к локальному отторжению эндопротеза в зонах с недостаточной интеграцией, к объёмным образованиям фиброзной ткани [4]. Вместе с тем совмещение комплекса рентгеновской томографии, моделирования и 3D-печати открывает перспективы создания индивидуальных имплантатов любой формы.

Целью данного исследования являлась разработка композиционных материалов для 3д-печати (3D-FDM) биоизделий, обладающих физико-химическими свойствами, сопоставимыми со свойствами естественной кости.

Исследуемые композиты на основе полилактида (ПЛА) содержат гидроксиапатит (ГАП) в диапазоне от 5 до 30% и добавки пластификатора от 1 до 4%. Известно, что ГАП сравнительно легко распределяется в растворе ПЛА при введении в количестве до 10% [5]. В результате образуется однородный полидисперсный раствор. Увеличение содержания ГАП до 30% оказывает влияние на эволюцию дисперсной системы, при этом имеет место агрегация частиц ГАП. Формирование агрегатов со средним размером более 50 мкм приводит к их седиментации, которая тем более активна, чем большее количество ГАП вводится в полимер.

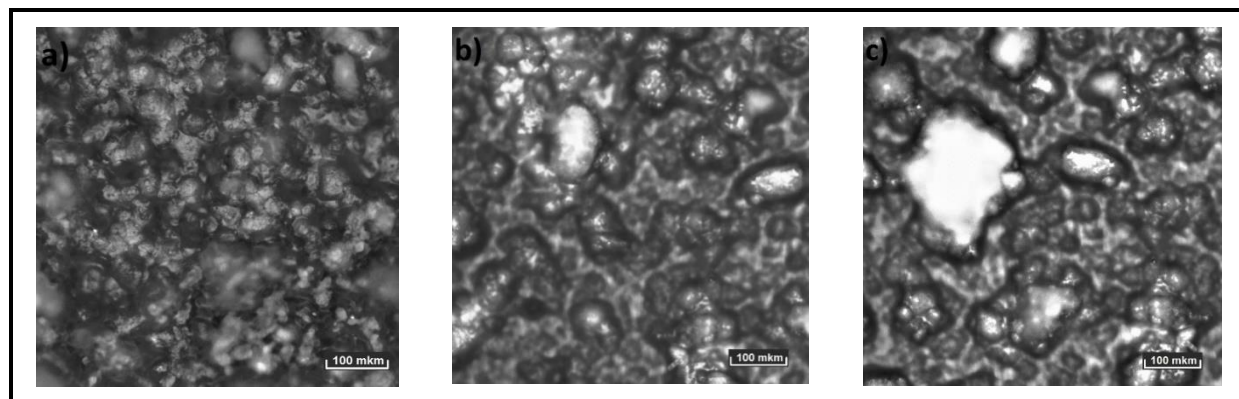


Рис. 1 Микрофотографии пленок композитов, содержащих гидроксиапатит: а) – 5%, б) – 15%, в) – 30%

На рисунке 1 приведены микрофотографии композитов исследуемых составов. Агрегация наиболее выражена в составе с содержанием 30%. Введение пластификатора в количестве до 4% позволяет исключить седиментацию и обеспечить однородность композитов, что является важным условием качественной печати.

Для получения композита использовали полилактид из D,L-лактида (ПЛА) и гидроксиапатит (ГАП), полученный методом осаждения. Гранулат композита перерабатывался в филамент (нить) при температурах экструзии от 140 до 146 °С для разных составов. Образцы печатали методом послойного нанесения расплава (FFF) на 3д-принтере Ultimaker<sup>2</sup> с модифицированной печатной головкой.

Установлено, что непрерывная печать образцов заданной геометрии с регулярной укладкой филамента и равномерной каркасной структурой осуществляется в диапазоне температур 178-190 °С. На рисунке 2 приведены механические характеристики композитов, содержащих ГАП от 5 до 30%, в сравнении с чистым ПЛА.

Прочность образцов из композита при сжатии и изгибе увеличивается от 52±2 до 62±2 МПа (на 10-18 %) при увеличении содержания ГАП от 5 до 30%. Ударная вязкость по Шарпи, характеризующая прочность при ударе, увеличивается от 4,3±0,5 до 5,6±0,5 кДж/м<sup>2</sup> (на 80 %). Усталостная прочность, определяемая в циклах нагружения, увеличивается от 4200±100 до 4800±100 циклов.

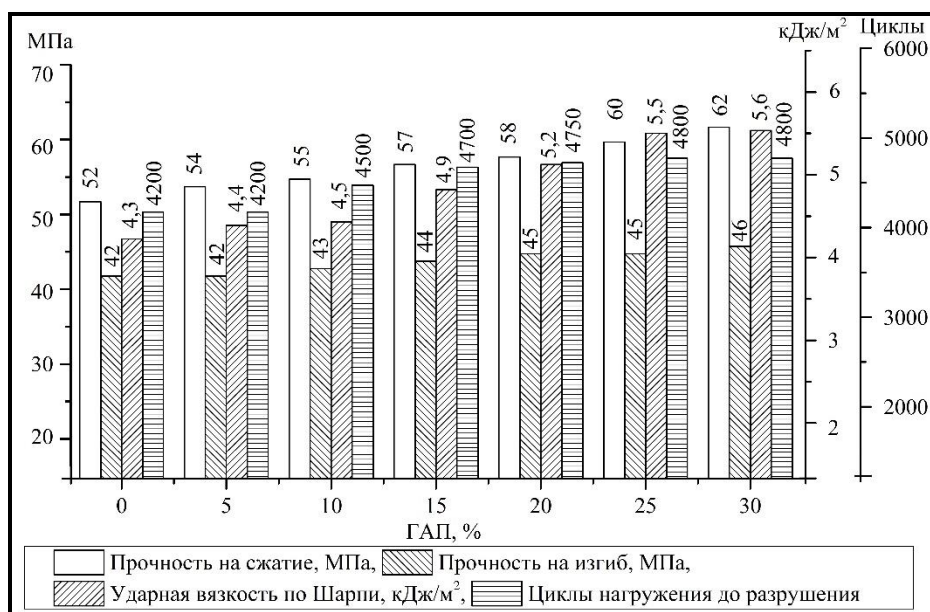


Рис. 2 Механические характеристики композитов

Известно плохое смачивание ПЛА (82-85°) физиологическими жидкостями. Введение ГАП в ПЛА приводит к уменьшению краевого угла смачивания, который для состава с содержанием 30% ГАП составляет 60°, что очень важно для развития биохимических процессов на поверхности имплантата.

Заключение:

Полученные данные показывают, что сочетание ГАП и ПЛА в одном материале обеспечивает синергию физико-химических свойств исходных материалов, открывая перспективу их использования в восстановительной медицине.

Для разработанных составов композитов ГАП-ПЛА, содержащих от 5 до 30% ГАП, определены условия получения филамента  $d=1,75\pm0,01$ мм (температура экструзии 140-146 °С) и определены параметры печати (температура печати 178-190°С, скорость печати 50-80 мм/с).

#### Литература

1. Ratner B.D., Hoffman A.S., Schoen F.J., Lemon J.E. Biomaterials science: an introduction to materials in medicine. 2nd edition / Edss. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004 – 851 p.
2. Petrovskaya T.S., Vereschagin V.I., Effectiveness of the technologies of titanium implants covering // Key Engineering Materials. – 2015. – Т. 670. – Р. 183 – 188.
3. Sheikh Z., Sima C., Glogauer M. Bone Replacement Materials and Techniques Used for Achieving Vertical Alveolar Bone Augmentation // Materials. – 2015. – Vol. 8. – No. 6. – P. 2953 – 2993.
4. Akkouch A., Zhang Z., Rouabhia M. A novel collagen/hydroxyapatite/poly(lactide-co-ε-caprolactone) biodegradable and bioactive 3D porous scaffold for bone regeneration // J Biomed Mater Res A. 2011. – Vol. 96. – №4. – P. 693 – 704.
5. Загородний Н.В., Королев А.В., Ахпашев А.А., Гнелица Н.Н., Ильин Д.О., Хасаншин М.М., Лягин А.С. Поведение имплантатов в костной ткани в различные сроки согласно МРТ-исследованию // Режим доступа: <http://www.lechenie-sustavov.ru/patient/articles/povedenie-implantatov-v-kostnoj-tkani-v-razlichnye-sroki-soglasno-mrt-issledovaniyu/>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

Ф.Х. Турапов, А. К. Холтаева

Научный руководитель – доцент Х.Х. Камилов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, г. Ташкент, Узбекистан

Ресурсосбережение в строительной отрасли определяется рациональным использованием природного сырья. Бетон является одним из основных материалов в строительстве. Поэтому экономия одного самого дорогого компонента бетона – портландцемента является актуальной. Как известно [1-4], одним из способов улучшения реологических свойств бетонной смеси, строительно-технических свойств бетона, а также экономии цемента является использование химических добавок. Использование химических добавок в незначительных количествах (всего до 2 % от массы цемента) позволяет управлять свойствами бетонной смеси и бетона в нужном направлении.

Целью наших исследований было изучение влияния суперпластификаторов на свойства портландцементного вяжущего. В исследованиях пользовались суперпластификаторами Sikament RMC-519” и “Sika Retarder. Они являются высокоэффективными суперпластификаторами с замедляющим схватывание эффектом для производства свободнотекущего (высокоподвижного) бетона в жарких климатических условиях. Они обеспечивают значительное водоредуцирование (снижение водоцементного соотношения), что приводит к повышению конечной прочности бетона. Добавки добавляли от 0,5 до 2% от массы цемента. Изучали влияние этих добавок на сроки схватывания вяжущего и на прочность камня вяжущего.

В качестве вяжущего пользовались портландцементом ПЦ 400- Д20 Бекабадского цементного завода.

Исследования проводились на тесте вяжущего нормальной густоты. Прочность определяли по формуле:

$$R_{сж} = 0,7 \frac{P}{S},$$

где Р – разрушающая нагрузка;

S – площадь образца, на которую действует нагрузка.

Полученные результаты влияния суперпластификаторов на сроки схватывания портландцемента представлены в таблице 1. Время до начала и конца схватывания теста нормальной густоты составляет 127 и 360 мин, соответственно. Исследованиями установлено, что по мере увеличения количества добавки сроки начала и конца схватывания увеличиваются. При этом добавка суперпластификатора Sikament RMC-519 в количестве 2 % от массы цемента привела к увеличению времени начала схватывания в 1,6 раза, а конца схватывания – в 1,3 раза по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 1

Влияние добавок на сроки схватывания портландцемента

Влияние добавок на сроки схватывания портландцемента					
№	Наименование добавки	В/Ц	Количество добавки, %	Сроки схватывания, мин	
				начало	конец
1	Sikament RMC-519	0,27	0	127	360
2			0,5	139	387
3			1	142	406
4			1,5	172	437
5			2	203	482
6	Sika Retarder		0	127	360
7			0,5	142	376
8			1	213	395
9			1,5	217	442
10			2	231	463